

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia

**ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR
SENSORIAMENTO REMOTO: UM
POTENCIAL PARA AVALIAÇÃO DA
PRODUÇÃO DE ENERGIA**

Autor: Gabriel Henrique das Chagas Noqueli Casari
Orientador: Prof. Dr. Augusto César Mendonça Brasil

Brasília, DF
2018



Gabriel Henrique das Chagas Noqueli Casari

ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR SENSORIAMENTO REMOTO: UM POTENCIAL PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia de Energia da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
de Energia .

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Augusto César Mendonça Brasil

Brasília, DF

2018

Gabriel Henrique das Chagas Noqueli Casari

ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR SENSORIAMENTO REMOTO: UM
POTENCIAL PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA/ Gabriel
Henrique das Chagas Noqueli Casari. – Brasília, DF, 2018-

66 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Augusto César Mendonça Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2018.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Índices de Vegetação. I. Prof. Dr. Augusto
César Mendonça Brasil. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama.
IV. ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR SENSORIAMENTO REMOTO: UM
POTENCIAL PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

CDU 02:141:005.6

Gabriel Henrique das Chagas Noqueli Casari

ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR SENSORIAMENTO REMOTO: UM POTENCIAL PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia de Energia da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
de Energia .

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 30 de novembro de 2018:

Prof. Dr. Augusto César Mendonça
Brasil
Orientador

Prof. Dr^a. Maria Vitória Duarte
Ferrari
Convidado 1

Prof. Dr. Fábio Cordeiro Lisboa
Convidado 2

Brasília, DF
2018

*“O saber a gente aprende com os mestres e os livros.
A sabedoria, se aprende é com a vida e com os humildes.”
(Cora Coralina)*

Resumo

Uma abordagem sobre a matriz energética brasileira e o crescimento potencial da biomassa para geração de energia com a utilização de novas tecnologias na otimização e geração. O objetivo deste estudo consiste na utilização do sensoriamento remoto para obter uma estimativa de biomassa voltada para geração de energia por meio de uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório com coleta de imagens utilizando um ARP em campos de cana-de-açúcar. Os mapas gerados com os dados de produtividade das amostras, onde os dados obtidos pelo sensoriamento remoto podem ser utilizados para auxiliar nas estimativas de produtividade.

Palavras-chaves: Sensoriamento Remoto, Índices de Vegetação, Biomassa. Aeronaves Remotamente Pilotadas, NDVI, VARI, Cana-de-Açúcar

Abstract

An approach on the brazilian energy matrix and the potential growth of biomass for energy generation with the use of new technologies in optimization and generation. The objective of this study is the use of remote sensing to obtain an estimate of biomass for energy generation through a qualitative exploratory research with image collection using an ARP in sugar cane fields. The maps generated with the data of productivity of the samples, where the data obtained by the remote sensing can be used to aid in the estimations of productivity.

Key-words: Remote Sensing, Vegetation Index, Biomass, Remotely Piloted Aircraft, RPA, NDVI, VARI, Sugarcane.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Produção Energia Primária	19
Figura 2 – Aeronave Remotamente Pilotada	22
Figura 3 – Espectro Eletromagnético	26
Figura 4 – Fenômenos de Incidência	26
Figura 5 – Representação <i>Sidelap</i>	30
Figura 6 – Representação Biomassa vs Dias - GRDI	31
Figura 7 – Leaf Area Index vs GRVI	31
Figura 8 – Mapa referencial das áreas	35
Figura 9 – Análise Comercial CTC4	37
Figura 10 – Análise Energética CTC4	37
Figura 11 – Análise Comercial - CTC15	38
Figura 12 – Análise Energética CTC15	39
Figura 13 – Plano de Voo - 14,6	41
Figura 14 – Mapa RGB - Sequeiro	43
Figura 15 – Mapa VARI - Sequeiro	44
Figura 16 – Mapa Elevação - Sequeiro	45
Figura 17 – Mapa NDVI - Sequeiro	46
Figura 18 – Mapa CVI - Sequeiro	47
Figura 19 – Plano de Voo - 32,93ha	48
Figura 20 – Mapa RGB - Água	49
Figura 21 – Mapa VARI - Água	50
Figura 22 – Mapa Elevação - Água	51
Figura 23 – Mapa NDVI - Água	52
Figura 24 – Mapa CVI - Água	53
Figura 25 – Plano de Voo - 26,13ha	54
Figura 26 – Mapa RGB - CTC15 - Vinhaça	55
Figura 27 – Mapa VARI - CTC15 - Vinhaça	56
Figura 28 – Mapa Elevação - CTC15 - Vinhaça	57
Figura 29 – Mapa NVDI - CTC15 - Vinhaça	58
Figura 30 – Mapa CVI - CTC15 - Vinhaça	59
Figura 31 – Dados Usina Jalles Machado	60

Lista de abreviaturas e siglas

RPA	Remotely-Piloted Aircraft
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
GSD	Ground Sample Distance
RGB	Red Green Blue
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
GLI	Green Leaf Index
NGRDI	Normalized Green-Red Difference Index
VARI	Variation Atmospheric Resistance Index
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IV	Índice de Vegetação
TAH	Tonelada de Açúcar por Hectare
POL	Teor de Sacarose
ATR	Kg de Açúcar por Tonelada de Cana
TCH	Tonelada de Cana por Hectare
TBH	Tonelada de Bagaço por Hectare
EEH	Energia Elétrica por Hectare

Sumário

	Introdução	17
1	CONTEXTUALIZAÇÃO	19
1.1	Motivação	20
1.2	Problema da Pesquisa	20
1.3	Justificativa	21
1.4	Objetivo Geral	22
1.4.1	Objetivos Específicos	22
1.5	Escopo	22
1.6	Direções Metodológicas	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	Biomassa	25
2.2	Índices de Vegetação	25
2.3	Sensoriamento Remoto	28
2.4	ARP's Voltadas à Aplicações em Campo	29
2.5	Correlação Biomassa vs Índice de Vegetação e <i>Leaf Area Index</i>	30
2.6	Potencial Energético de Biomassa Residual	32
2.7	Processamento de Imagens	32
3	LEVANTAMENTO DOS DADOS	35
3.1	Descritivo de Campo	35
3.2	Variedades mapeadas CTC4 e CTC15	36
3.2.1	CTC4	36
3.2.2	CTC15	38
3.2.3	Dados do Vôo	40
3.3	Produtos Gerados	40
3.3.1	Área 001003 - CTC4 - Sequeiro	41
3.3.2	Área 022004 - CTC4 - Água	48
3.3.3	Área 055001 - CTC15 - Vinhaça	54
3.4	Dados da Usina	60
3.5	Análise de Resultados	60
3.6	Conclusão	62
3.7	Sugestão para Trabalhos Futuros	63
	REFERÊNCIAS	65

Introdução

Neste trabalho será apresentada uma contextualização sobre a utilização da biomassa como fonte de geração de energia e sua participação na Matriz Energética Brasileira, bem como a utilização de Aeronaves de Voo Autônomo para o levantamento de dados e desenvolvimento para obtenção de informações para cultivos, aplicados ao melhoramento da utilização dessa matéria prima. São apresentados também a justificativa do desenvolvimento da metodologia, objetivo geral da pesquisa e análise experimental em campo.

1 Contextualização

A Matriz Energética Brasileira apresenta uma distribuição de participação entre energias renováveis e não-renováveis. A que apresenta maior representatividade e oferta de potência de geração é proveniente de Energia Hidráulica, relativa as Pequenas Centrais Hidrelétricas, Centrais Geradoras Hidrelétricas e Usinas Hidrelétricas. A Energia proveniente da biomassa têm apresentado um maior desenvolvimento e atenção tanto do governo quanto das Usinas que à utilizam para o seu funcionamento.

No Brasil, em 2017, a participação da fonte de biomassa na capacidade instalada para geração de energia elétrica foi de 9,4%, o que é um número expressivo, sendo a segunda maior fonte de energia renovável no país com visões de crescimento e viabilidade devido a grande oferta no mercado interno, principalmente associado à indústria sucroalcooleira. (MME, 2017)

O crescimento da utilização de biomassa para geração de energia primária pode ser observado na figura abaixo.

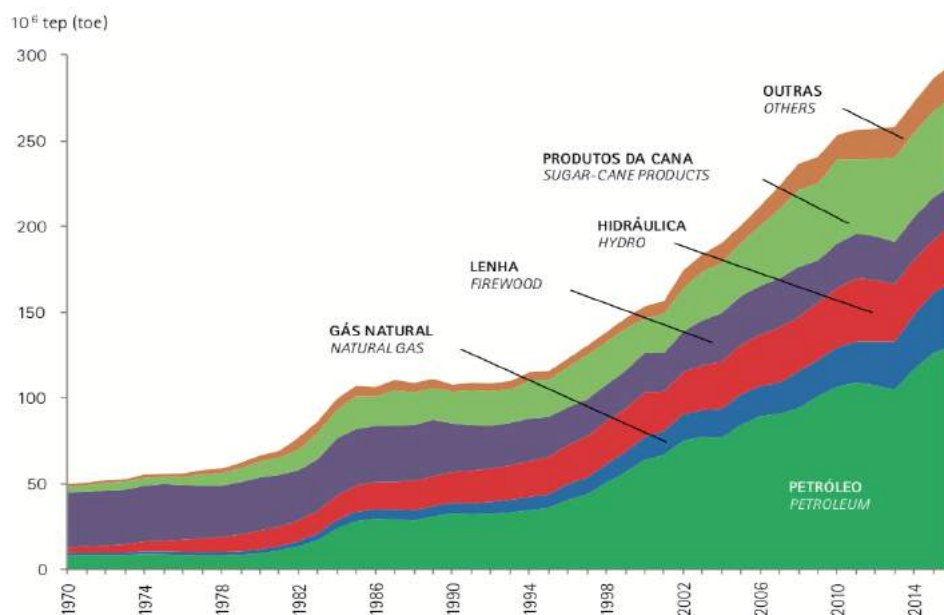


Figura 1 – Produção Energia Primária

Fonte: MME, 2017.

O gráfico representa no eixo X, os anos, e no eixo Y a quantidade equivalente em toneladas de petróleo (TEP), sendo possível acompanhar o crescimento e a participação da biomassa para produção de energia primária assim como o crescimento das outras fontes, contudo, a segunda faixa com maior crescimento é proveniente dos produtos da cana-de-açúcar, e dentre esse produtos está o bagaço da cana, uma das principais biomassas

utilizadas para geração no Brasil.

Do ponto de vista de geração de energia, o conceito de biomassa pode-se considerar um recurso de cunho natural e renovável. A utilização para produção de energia é proveniente do processo de combustão de material orgânico.

O crescimento da participação da biomassa na Matriz Energética Brasileira tem relação direta com a operação e produção das Usinas e vantagens do uso da biomassa (PEER, 2016), sendo algumas delas: :

- Energia Renovável;
- Pouco Poluente (De acordo com o ciclo natural de carbono neutro);
- Baixo Custo de Aquisição
- Menor Processo Corrosivo dos Equipamentos (tubulações, fornos e caldeiras).

Neste trabalho, está sendo desenvolvido um estudo sobre o levantamento de estimativa da biomassa em cultivos, com a utilização de uma ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), com câmeras especiais, filtros, índices de vegetação e tratamentos de imagem, com o objetivo de realizar aplicações em campo, verificando sua viabilidade, otimização do controle e operações de manejo, com a obtenção de uma estimativa antes mesmo da colheita, levantando um dado correspondente à quantidade de biomassa disponível para o produtor, tanto para produtividade quanto para geração de energia no caso das Usinas Açúcar e Etanol.

1.1 Motivação

A utilização de ARP's para o levantamento de dados em campo vem se desenvolvendo de forma crescente, demonstrando um enorme potencial para reduzir custos, aumentar produtividade, levantando informações e aplicando-as à Agricultura. O custo para aquisição desse tipo de tecnologia é baixo quando comparado aos outros meios de obtenção desses dados, como por exemplo: Aerolevantamentos e Imagens de Satélite, trazendo ainda mais à tona o uso dos ARP's para obtenção de dados na Agricultura, e no caso desta pesquisa, para a estimativa de biomassa e aplicações para geração de energia.

1.2 Problema da Pesquisa

A pesquisa consiste no desenvolvimento de um estudo referente à obtenção da estimativa de biomassa. A estimativa de biomassa está diretamente ligada com a produtividade, e correlacionada ao potencial de geração de energia tanto por meio de combustíveis,

como é o caso do etanol, biodiesel, como pela queima do bagaço nas usinas, utilizando biomassa residual.

No Brasil, 90% do biodiesel produzido é proveniente da soja (KOHLHEPP, 2008), o desenvolvimento desse estudo para a estimativa é uma ferramenta potencial para o auxílio e otimização do manejo em campo, aumentando assim a produtividade e o potencial de geração voltado para as fontes de energia provenientes de biomassa.

1.3 Justificativa

Para a coletas das imagens e desenvolvimento deste estudo foi levado em consideração as grandes dimensões das lavouras no Brasil, tornando inviável uma coleta de dados de maneira amostral, para isso, a utilização de uma ARP foi a solução para a coleta das imagens devido à grande área de cobertura e velocidade de captura dos dados, bem como a capacidade de embarcar câmeras com diferentes filtros para obtenção de imagens multispectrais.

O levantamento de informações com a utilização de ARP's em campo é uma tecnologia em desenvolvimento e com grande potencial, principalmente durante o desenvolvimento dos cultivares. Para a pesquisa, serão utilizados dois sensores, um RGB e outro NIR para captura das imagens, o processamento das imagens consiste na elaboração de um ortomosaico georreferenciado e análise dos índices e níveis de refletâncias dos cultivares para obter uma correlação entre os índices e biomassa na área da amostra.

1.4 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um estudo para estimativa de biomassa por área cultivada com a utilização de ARP's, embarcadas com sensores RGB e NIR, e a partir processamento das imagens, obtenção de ortomosaicos avaliativos e dados correspondentes ao desenvolvimento e quantificação da amostra.



Figura 2 – Aeronave Remotamente Pilotada

Fonte: Nuvem UAV

1.4.1 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral proposto seja atingido, alguns objetivos específicos serão abordados e desenvolvidos para melhores resultados:

- Análise dos Índices de Vegetação que correspondem melhor ao objetivo proposto, NDVI, VARI e CVI;
- Correlacionar dados de produtividade com dados obtidos ;

1.5 Escopo

O estudo desenvolvido consiste na obtenção de imagens com os sensores RGB e NIR, geração de ortomosaicos georreferenciados (NDVI, CVI e VARI) com o *Ground Sample Distance* (GSD) entre 2 e 5cm/px. A expectativa é que seja possível correlacionar a quantidade de biomassa por área com a utilização das imagens aéreas obtidas com câmeras especiais em amostras de campo.

1.6 Direções Metodológicas

Para o desenvolvimento deste estudo, foram levantadas informações quanto ao método de captura das imagens, informações quanto aos índices de refletância e câmeras adequadas para obtenção de resultados relacionados à quantificação de biomassa, bem como requisitos mínimos para processamento dos dados e análise.

Este estudo foi dividido em três etapas, sendo elas: Captura das Imagens utilizando um ARP, Processamento das Imagens e de uma análise entre os dados obtidos e as imagens.

A proposta da execução é desenvolver um processo para obter um estudo exploratório sobre a biomassa disponível em lavouras para aplicações voltadas à produção de energia, aumentando assim, a eficiência dos processos nas Usinas e na gestão, consequentemente tornando o mercado de geração proveniente da biomassa, mais eficiente e provido de tecnologias que auxiliam no aumento do poder de geração.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo contém a revisão bibliográfica sobre Biomassa, Índices de Vegetação, Sensoriamento Remoto, ARP's voltadas à aplicações em campo, Correlação entre Biomassa e Índices de Vegetação, Produção de Energia com a Utilização de Biomassa, Pós-Processamento e Análise dos Dados.

2.1 Biomassa

Para entendermos toda a relação e a cadeia de informações que serão levantadas nessa pesquisa, devemos apresentar inicialmente o conceito de biomassa, é a matéria orgânica de origem vegetal ou animal com finalidade de produzir energia, e que a sua utilização pode ser na sua forma bruta propriamente dita, ou dos seus derivados, como por exemplo: madeira, produtos e resíduos agrícolas, bagaço de cana, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos vegetais, biogás, são maneiras de utilização da biomassa como combustível.([PACHECO, 2006](#)) A queima e o processo de decomposição da biomassa e de seus derivados provocam a liberação de CO₂ na atmosfera, trazendo ainda mais em evidência a importância de se ter uma gestão e um controle mais eficiente, com um manejo mais preciso das informações referentes à biomassa que estão sendo desenvolvidas nessa pesquisa voltadas a estimativa de biomassa com a utilização de sensoriamento remoto, podem ser um diferencial para o aumento da precisão das estimativas e uma nova ferramenta utilizada em campo.

2.2 Índices de Vegetação

Para o levantamento das informações em campo voltadas a estimativa de biomassa com a utilização de ARP's embarcados com câmeras espectrais, serão utilizados os chamados Índices de Vegetação, que são algoritmos matemáticos desenvolvidos para avaliação da cobertura vegetal ([MARCUSSE, 2010](#)), e capazes de identificar e diagnosticar a relação de área foliar, biomassa, e taxa de solo exposto, trazendo assim informações relevantes para que a estimativa seja obtida de maneira mais sólida e precisa.

Os Índices de Vegetação (IV) utilizam dos comprimentos de onda refletidos pelo material para realização dos cálculos para representação nos mapas e imagens na identificação dos pontos de interesse. Os comprimentos de onda são obtidos pelos sensores embarcados, no caso dessa pesquisa serão utilizados 2 sensores, fazendo a cobertura do espectro visível e não visível, sendo respectivamente um RGB e o outro NIR (Near Infra-Red).

O espectro eletromagnético é dividido em faixas com representações e características próprias (MARCUSSE, 2010) , conforme apresentado na figura abaixo:

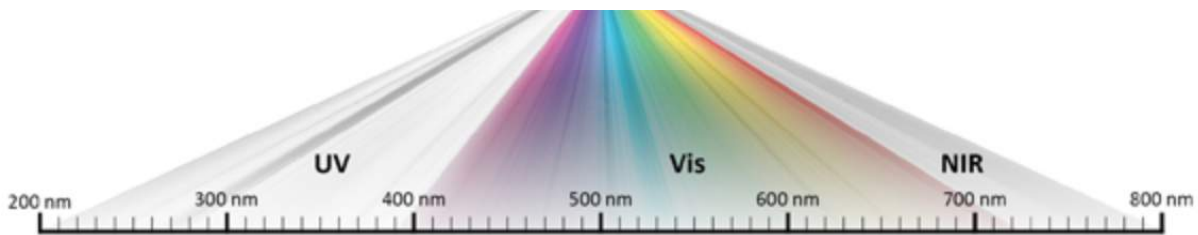


Figura 3 – Espectro Eletromagnético

Fonte: Marcussi

As faixas mais utilizadas para Sensoriamento Remoto e aplicações voltadas para o acompanhamento de lavouras, estão nas faixas do VIS e NIR.

A cobertura vegetal reflete a radiação solar e pode ser medido e analisado devido ao seu comportamento diferente dos materiais não-orgânicos, apresentando assim maior absorção de radiação em comprimentos específicos de onda de acordo com cada indicativo, seja ele, estresse hídrico, alguma deficiência nutricional, acamamento, ou outro tipo de fenômeno que afete refletância da vegetação. Ao atingir a vegetação, existem três fenômenos que podem ocorrer a partir dessa interação e que influenciam diretamente nos dados obtidos e diretamente nas avaliações. A refletância, que é a relação entre a radiação refletida entre a vegetação e a radiação diretamente incidida, a transmitância que é o fluxo de radiação transmitida pela radiação incidente, e a absortância, que é a razão entre o fluxo da radiação absorvida pela radiação incidente.(MARCUSSE, 2010) Na figura abaixo demonstrada às disposições desses fenômenos supracitados.

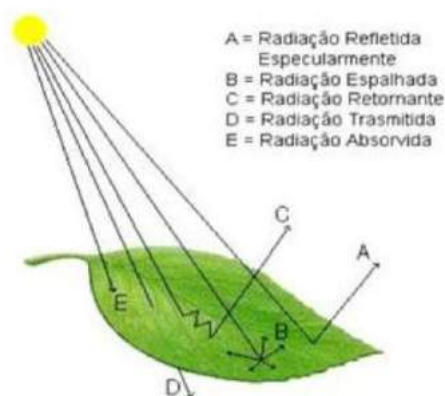


Figura 4 – Fenômenos de Incidência

Fonte: Marcussi

Com a quantificação desses fenômenos que é possível realizar o levantamento de importantes informações voltadas para cada tipo de cultura agrícola ou vegetação, viabi-

lizando a correlação entre os índices de vegetação e as informações coletadas em campo, como a produtividade e quantificação de biomassa.

Para essa pesquisa, as imagens coletadas pelas ARP'S serão processadas e submetidas aos seguintes Índices de Vegetação: NDVI, CVI e VARI

- **NDVI**(Normalized Difference Vegetation Index): um dos Índices de Vegetação mais aplicados em culturas agrícolas e para avaliação de vegetação, que em sua tradução é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, conhecido por analisar a condição da vegetação por sensoriamento remoto por receber as ondas do espectro não-visível que tornam possível diferenciar solo de vegetação, bem como a identificação de plantas em condições de amarelamento e estresse.(CAMARGO,)

O NDVI é um índice antigo, com aproximadamente 40 anos desde suas primeiras utilizações em imagens de satélite para caracterização e mapeamento de coberturas vegetais no planeta, utilizado desde o lançamento do *LANDSAT1*. O NDVI é dado pela equação abaixo:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

A pigmentação foliar usualmente se encontra na faixa do espectro visível, e na faixa do vermelho (RED), onde ocorre uma grande absorção de energia, e como o sensor que utilizaremos será capaz de coletar imagens na faixa do NIR, há uma boa relação entre a absorção de energia e ser um bom indicativo para o monitoramento de desenvolvimento, identificação de amarelamento, o que reflete diretamente na produtividade e quantidade de biomassa. Devemos considerar que juntamente com a utilização dos índices de vegetação faz-se necessária a utilização de um compilado de informações coletadas para serem confrontadas e validadas, mas que é uma boa ferramenta e que está diretamente relacionada com o apontamento de pontos com maior ou menor concentração de biomassa nas amostras que serão coletadas futuramente.

- **CVI**(Chlorophyll Index Green): um índice que apresenta correlação com a quantificação de clorofila presente na cultura avaliada, quando calculado e representado no ortomosaico, será possível identificar zonas com maior concentração de clorofila, o que está relacionada com a maior quantidade de área e massa, o que indica um ponto onde há maior aglomerado de matéria (??). O CVI é dado pela equação abaixo:

$$CIV = \frac{(NIR)}{(GREEN)} - 1$$

O índice de clorofila possui uma alta sensibilidade na banda do espectro visível verde (500 - 565nm), correspondente ao pigmento fotossintético presente na cultura, é um índice que apresenta melhor correlação que o NGRDI quando comparados, devido à utilização da banda NIR para realização dos cálculos.

- **NGRDI** (Normalized Green Red Difference Index): O NGRDI é também conhecido como NDVI visual, este índice não utiliza bandas do espectro não visível e possui boa semelhança com o NDVI.

$$NGRDI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED}$$

- **GLI** (Green Leaf Index): O índice de folha verde é um dos mais utilizados para avaliação de cobertura vegetação, utilizando as bandas do espectro visível, na representação do ortomosaico fica em evidência as áreas com maior concentração de material na banda do verde (500-565nm)(VINA et al., 2011).

$$GLI = \frac{(2 * GREEN - RED - BLUE)}{(2 * GREEN + RED + BLUE)}$$

O GLI é comumente utilizado em satélites atualmente como *LANDSAT 8*, é um índice que será utilizado na pesquisa futuramente para identificação de áreas que apresentam maior cobertura foliar e consequentemente mais biomassa, onde essa informação pode estar associada a produtividade da amostra tanto para geração de energia primária, como secundária.

- **VARI**(Visible Atmospherically Resistant Index): o VARI utiliza as bandas do espectro visível para realização dos cálculos, muito utilizado para avaliação dos cultivos quanto ao desenvolvimento e diferença de coloração, essas diferenças podem estar relacionadas à déficits de nutrientes ou algum tipo de problema no balanço nutricional do solo na área, o que influencia diretamente na saúde vegetal, o que reflete na biomassa da amostra, esse índice também será utilizado na pesquisa para avaliação da correlação das cores e indicativos de saúde vegetal com a biomassa

$$VARI = \frac{(GREEN - RED)}{(GREEN + RED - BLUE)}$$

É um índice que tem como objetivo de minimizar os efeitos da atmosfera, aplicado após a coleta das imagens, no seu pós-processamento assim como todos os outros índices, apresentando uma sensibilidade mínima à variações de efeitos atmosféricos.(GITELSON, 2008) Os Índices de Vegetação apresentados serão utilizados e testados para verificar correlação com biomassa e avaliar a viabilidade do uso de ARP's para estimativa de biomassa em cultivos agrícolas.

2.3 Sensoriamento Remoto

Para o desenvolvimento desta pesquisa, um dos conceitos mais importantes é o de Sensoriamento Remoto, que é dado pelo conjunto de técnicas que permitem o levantamento de dados sobre as áreas de interesse(AVERY; BERLIN, 1992), no caso, áreas com

cobertura vegetal, por meio da captura de imagens e da radiação eletromagnética refletida pela superfície de interesse por meio de sensores, os quais no caso deste trabalho são do tipo RGB e NIR.

A técnica que será utilizada para captura das imagens, as quais serão utilizadas e processadas usando os índices de vegetação desta pesquisa serão obtidas através da aerofotogrametria(MENESES, 2012). Esta técnica consiste na obtenção de imagens de uma determinada área para elaboração de um mapa, é uma técnica já bastante utilizada, principalmente nos meio militares e governamentais para o mapeamento do país e controle do território.

2.4 ARP's Voltadas à Aplicações em Campo

As Aeronaves Remotamente Pilotadas, ou comumente chamada de *drones* são equipamentos capazes de realizar voos autônomos e obter imagens que podem ser utilizadas para levantar dados e auxiliar no manejo e gestão de atividades como as aplicações em cultivos agrícolas, e no caso dessa pesquisa um estudo sobre métodos de estimativa para biomassa.

No Brasil, a utilização de ARP's vem crescendo devido às suas aplicações e seus benefícios no levantamento de dados, o custo de operação é baixo quando comparado à tecnologias semelhantes.

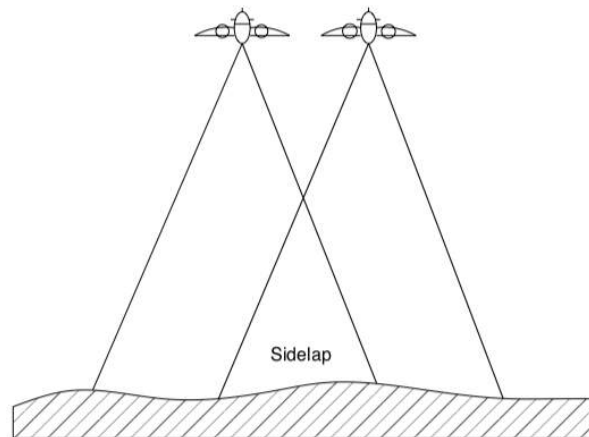
O modo de operação de um ARP consiste na elaboração de um plano de voo da área a ser mapeada, onde serão definidos de acordo com o operador e à necessidade de detalhamento das imagens, a altura de voo, a sobreposição tanto para *sidelap* como para *frontlap* das imagens (MORGAN; FALKNER, 2002) e o GSD, responsável pela definição do mapa e podendo variar de acordo com a finalidade à qual o mapeamento está sendo feito.

Na figura(5), é possível visualizar melhor o conceito de *sidelap*, que é a sobreposição de imagens laterais, e no caso do *frontlap*, a sobreposição frontal, para que haja total cobertura e melhor alinhamento.

A aeronave segue o plano de voo, atendendo às especificações dadas de altitude e sobreposição, em diversas linhas até que toda a área seja concluída, os sensores (RGB e NIR) capturam as imagens, as quais possuem em seu registro a coordenada geográfica a qual será utilizada posteriormente para fazer o alinhamento das fotos e geração do ortomosaico.

Figura 5 – Representação *Sidelap*

Fonte: Geometry of a Vertical Aerial Photograph



2.5 Correlação Biomassa vs Índice de Vegetação e *Leaf Area Index*

A utilização de ARP's tem como objetivo tornar viável a coleta de dados para a estimativa de biomassa e relação de produtividade, no caso deste estudo, levantando imagens com sensores RGB e NIR, os quais alguns estudos já comprovam a correlação de até 83% com a produtividade em lavouras de cana-de-açúcar(SANCHES et al.,).

O desenvolvimento dessa tecnologia possui importância relevante principalmente para as usinas sucroalcooleiras, como também pode ser aplicada à outros cultivos, auxiliando no planejamento e gestão tanto para o mercado de exportações como para o de geração. A previsão é que para 2030, a indústria da cana-de-açúcar dobre o potencial de geração, e para otimizar essa produção, o monitoramento da cana, e dos cultivos com potencial de geração são de extrema importância.(SANCHES et al.,)

A tecnologia para o levantamento de imagens aéreas para obtenção de informações é um método não invasivo para análise da cobertura vegetal, fazendo a identificação dos *pixels* correspondentes ao cultivo, e dos *pixels* correspondentes ao solo, sendo possível fazer a diferenciação, trazendo assim uma análise linear entre a cobertura vegetal e o solo. No Brasil, a estimativa da cana-de-açúcar, milho, soja e outros cultivos são usualmente feitas através de contagens amostrais, sendo uma avaliação subjetiva e imprecisa.

Este estudo visa analisar a viabilidade e a correlação entre as imagens obtidas pelo equipamento, apresentando assim, uma possível solução para o aumento na precisão e controle na estimativa de biomassa, analisando o cultivo, e os espaçamentos, bem como a área de cobertura vegetal e diferenciando-a do solo, auxiliando assim nas decisões e nas previsões de produtividade.

Com a utilização dos Índices de Vegetação apresentados, será observada a correlação deles com o avançar do estágio do cultivo, o que diretamente indicará um aumento

da área foliar, e refletindo assim nos resultados.

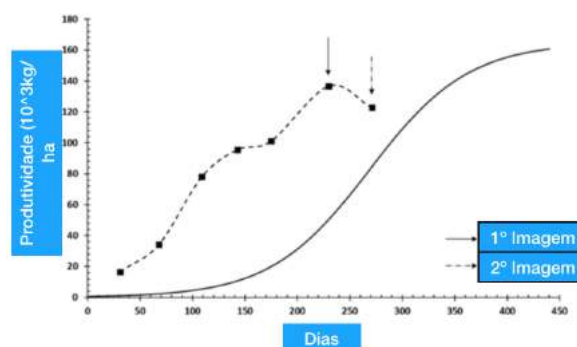


Figura 6 – Representação Biomassa vs Dias - GRDI

Fonte: GM Sanches

No gráfico da figura(6), é possível observar o crescimento da biomassa com o decorrer dos dias, os dados foram obtidos através de um equipamento de medição de área foliar (Leaf Area Index) da *Accupar LP-80 Decagon Devices*, e posteriormente foram comparados com as imagens obtidas por ARP, onde mostrou boa correlação com o GRVI (Green Red Vegetation Index)(SANCHES et al.,), como podemos ver no comparativo abaixo (7).

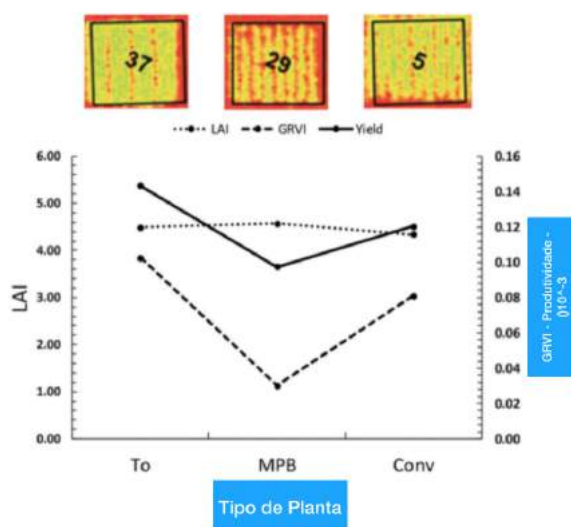


Figura 7 – Leaf Area Index vs GRVI

Fonte: GM Sanches

As linhas comparativas mostradas na figura(7) , permitem observar a semelhança dos traçados entre o LAI e o GRVI, o que corresponde à uma correlação aproximada entre os indicadores, e que a utilização destes para uma estimativa de biomassa podem obter resultados aceitáveis e aplicáveis para gestão e controle nas fazendas e usinas.

2.6 Potencial Energético de Biomassa Residual

A energia gerada por meio da biomassa cultivada, vem sendo colocada em evidência com o passar dos anos como uma fonte renovável de energia, visto a situação de instabilidade na geração energética (2007-2008) e as influências nas mudanças climáticas e ambientais resultado dos meios tradicionais de geração, como termelétricas a gás ou a diesel, ainda muito presentes no país(MIURA et al., 2011). Países como o Brasil, onde a matriz energética é predominantemente de força hidráulica(MME, 2017), e com o potencial de geração por biomassa em grande escala, estão explorando ainda mais este mercado, principalmente nas usinas de cana-de-açúcar, onde são conhecidas por serem as maiores produtoras de biomassa, e que há anos já utilizam a energia proveniente da queima de biomassa residual para o fornecimento de energia da própria usina, e casualmente, retornando para a malha de transmissão.

A estimativa de biomassa pode ser aplicada à diversos tipos de cultivo, entre eles, na região Centro-Oeste do Brasil, um dos principais cultivos agrícolas é a soja. Em 2017, do total de produtos exportados pelo agronegócio brasileiro, 48,8% são correspondentes à soja (PODESTÀ, 2017), a utilização do desenvolvimento deste estudo aplicado à estimativa de biomassa, podendo ser aplicado aos principais cultivos no país, pode ser um potencial para o melhoramento do manejo das fazendas em que for aplicado, refletindo diretamente no mercado energético brasileiro, em situações em que as produções forem voltadas para a geração de energia. No Brasil, 90% do biodiesel produzido é proveniente da soja (KOHLHEPP, 2008), o que demonstra que o desenvolvimento deste estudo pode auxiliar nesses mercados não só na cana-de-açúcar, predominante no estado de São Paulo, como nas regiões mais centrais em cultivo de grãos.

2.7 Processamento de Imagens

O processamento das Imagens coletadas consiste em seguir um *workflow*, para que o produto final seja um ortomosaico de boa qualidade, para que seja possível extrair o máximo de dados da área de amostra. O fluxo de trabalho consiste em 5 passos, sendo eles:

- Alinhamento das Fotos: utilizando as coordenadas geográficas e com auxílio da sobreposição, o posicionamento das imagens para formar um arquivo único.

- Construção da Nuvem de Pontos: as imagens possuem informações de profundidade, logo, é possível realizar o alinhamento dos pontos das áreas não planas, gerando assim uma nuvem de pontos.
- Cobertura pela Textura: A nuvem de pontos citada anteriormente é coberta pela textura da imagem, formando assim uma imagem com profundidade e características de elevação.
- Construção do Modelo Digital de Terreno: o MDT, é a representação da superfície da área mapeada, são fundamentais no ambiente de um sistema de um Sistemas de Informações Geográficas(SIG)([AVERY; BERLIN, 1992](#)).
- Geração de ortomosaico: Consiste no compilado de todas as atividades anteriores e formando assim um ortomosaico de alta definição, com profundidade e características de relevo, o qual será utilizado futuramente para aplicação dos Índices de Vegetação.

Um exemplo de ortomosaico GLI, coletado utilizando multirrotor em uma área irrigada na região de Cristalina-GO, foram coletadas 456 imagens, com *overlap* de 65% e *frontlap* de 75%, alinhadas e processadas, sendo possível conseguir as coordenadas de qualquer ponto desta imagem e as setas apontam as áreas com diferenças de desenvolvimento ou manchas.

Com esse tipo de ortomosaico, é possível identificar visualmente os pontos com maior maior presença de verde, onde há o indicativo de maior desenvolvimento nessa fase inicial de aproximadamente 15 dias após o plantio.

3 Levantamento dos Dados

Este capítulo contém a descrição da execução da parte experimental deste trabalho referente à uma visita em campo realizada na Usina Jalles Machado, localizada em Goianésia-GO, onde foram realizados 3 voos para realização de coleta e avaliação quanto a viabilidade de obter uma estimativa quanto à biomassa produzida.

3.1 Descritivo de Campo

A Usina Jalles Machado, atendendo a uma solicitação feita à equipe responsável pela parte Agrícola, forneceu 3 áreas amostrais para que fosse realizado esse levantamento de dados. Estas áreas possuem diferentes sistemas de irrigação e variedades de cana, sendo elas CTC4 e CTC15, as quais são produzidas pelo Centro de Tecnologia Canavieira. A coleta dos dados ocorreu no dia 02/10/2018, nas áreas apresentadas na imagem abaixo.



Figura 8 – Mapa referencial das áreas

Fonte: Google Earth com Edições.

O primeiro campo mapeado foi o 011003, o qual não possui sistema de irrigação e possui uma área plantada de 14,6ha(CTC4). Para esta área, o voo foi realizado a 90m AGL, com a obtenção de um GSD de 3,4 cm/px, de alta definição para auxiliar no processamento e obter maior precisão nos mapas gerados. O dia apresentava céu totalmente encoberto por nuvens, não havendo sombreamentos que pudessem influenciar de maneira considerável nos resultados.

O segundo campo mapeado foi o 022004, com área plantada de 32,93ha(CTC15), este campo conta com a presença de um sistema de irrigação de água por meio de carretel autopropelido, e mantém os parâmetros de voo anteriores.

A terceira e última área foi 055001, com área plantada de 32,93ha(CTC4), com sistema de irrigação de vinhaça.

3.2 Variedades mapeadas CTC4 e CTC15

A cana-de-açúcar plantada nas áreas amostrais mapeadas são de diferentes variedades, bem como estão submetidas a diferentes tipos de irrigação. Para diversificação do estudo, neste caso, temos cana irrigada com água, com vinhaça e sem irrigação.

Nos campos avaliados, a variedade da cana utilizada é desenvolvida pelo CTC, o maior grupo de pesquisa e desenvolvimento de cana-de-açúcar Brasil, localizado em Piracicaba-SP. Aproximadamente 60% da variedade de cana produzida no Brasil é proveniente de materiais oriundos dos centros de desenvolvimento do CTC.

3.2.1 CTC4

As características de cada variedade são relevantes para este trabalho, já que estamos avaliando a relação entre as imagens obtidas e biomassa, a finalidade para qual a cana foi desenvolvida auxilia no entendimento destes dados.

A CTC4, possui TCH (Tonelada de Cana por Hectare) elevada quando comparada à CTC15, adaptabilidade com plantio mecanizado e alto grau de perfilhamento, que são os ramos laterais que se desenvolvem abaixo do solo.

A análise comercial apresentada pelo portfólio do CTC (14), traz informações referentes à TCH, ATR (KgAçúcar/Ton de Cana) e TAH (TonAçúcar/ha), onde podemos observar um bom desempenho quando comparada à variedade RB867515(CNPTIA, 2008), que também possui uma grande participação no mercado nacional e por isso foi utilizada como referência (Fig. 10).

Na figura (11), é possível observar o TBH (Tonelada de Bagaço por Hectare) nesta variedade, o que está relacionado com o potencial de geração de energia desta cana através da relação de bagaço e capacidade de conversão em energia elétrica.

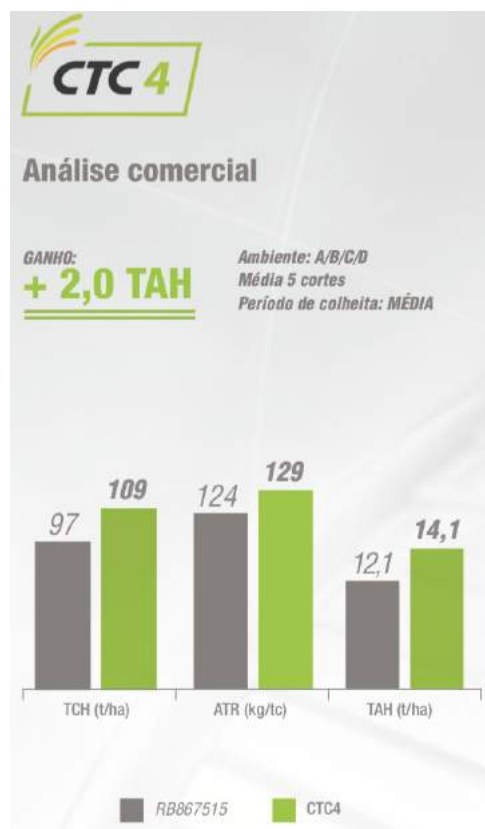


Figura 9 – Análise Comercial CTC4

Fonte: CTC, 2018



Figura 10 – Análise Energética CTC4

Fonte: CTC, 2018

No caso da CTC4, podemos observar que o potencial de geração por hectare produzido é equivalente 8,93MWh/ha, que em grandes áreas representa um valor muito expressivo, assim como as 22,3 toneladas de bagaço, que são utilizadas no aquecimento das caldeiras e geração de energia são fatores que podem ser correlacionados pelas zonas de variação de biomassa observados pelo drone.

3.2.2 CTC15

A variedade CTC15, possui, assim como a CTC4, o TCH elevado, apresenta tolerância à seca, podendo ser utilizada em localidades onde as condições climáticas sejam mais críticas, além de ser uma cana com características mais rústicas e resistir melhor às intempéries.(CANAVIEIRA, 2018)

Na figura 12 da CTC15, é possível observar algumas diferenças em relação ao CTC4, como TCH 18,3% menor, mas um ATR 12% maior e um TAH semelhante. Mostrando assim, que cada um possui seus desempenhos, de acordo com o interesse de produto final.

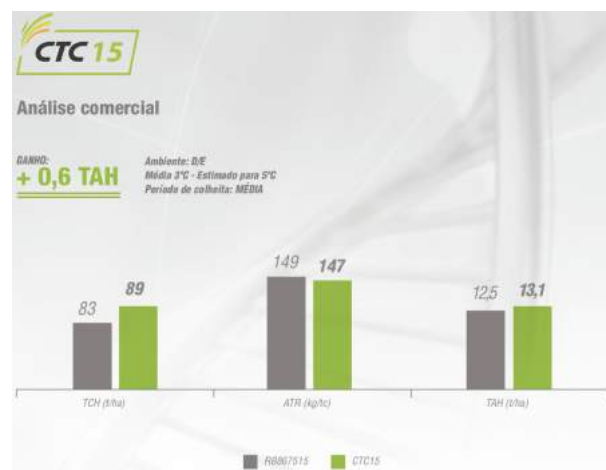


Figura 11 – Análise Comercial - CTC15

Fazendo uma análise do potencial energético relacionado ao bagaço de cana desta variedade, correlacionado com a área plantada, podemos observar que em relação à CTC 4, esta possui aproximadamente 8,4% a mais potencial de geração de energia elétrica e 9,2% a mais em bagaço de cana.



Figura 12 – Análise Energética CTC15

Fonte: CTC, 2018

3.2.3 Dados do Vôo

Para a coleta das imagens, o equipamento utilizado foi um multirrotor DJI Phantom 4 Pro, embarcado com uma câmera RGB e uma Câmera NIR.

Os voos foram realizados a uma altitude de 90m AGL, a fim de obter orthomosaicos de alta resolução com GSD de 3,4cm/px, tiveram duração média de 20 minutos, as sobreposições *sidelaps* e *frontlaps* foram configurados para 65% e 75% respectivamente e realizados pela manhã entre 08:30 e 11:00 do dia 02/10/2018.

3.3 Produtos Gerados

Os mapas gerados a partir dos planos de voo, foram inicialmente processados na plataforma *DroneDeploy*, onde foi feito o alinhamento das fotos para obtenção de um ortomosaico georreferenciado, e no programa *QGIS Las Palmas 2.18*, utilizou-se a calculadora *raster* para calcular os índices de vegetação, utilizando as bandas das câmeras RGB e NIR para geração dos mapas de avaliação, considerando as finalidades e as características de cada fórmula para obtenção dos indicativos desejados.

No final do mapeamento, obteve-se um total de 915 fotografias entre RGB e NIR e uma área total mapeada de 73,66ha.

3.3.1 Área 001003 - CTC4 - Sequeiro

O plano voo foi feito seguindo os dados de voo apresentados anteriormente, o sentido do voo é pensado para o maior aproveitamento da bateria e leva em consideração a direção e intensidade do vento.

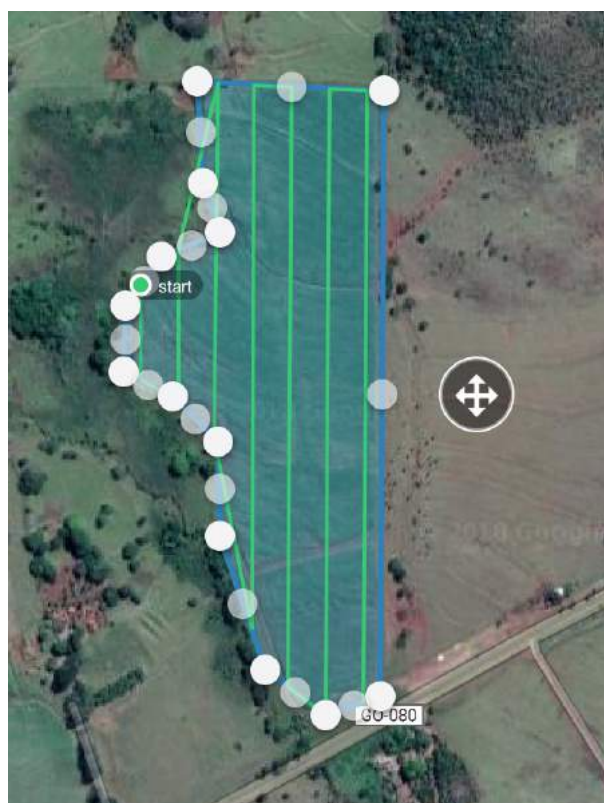


Figura 13 – Plano de Voo - 14,6

Fonte: Autor

Os dados fornecidos pela Usina Jalles Machado para esta área estão apresentados na tabela.

Id	Tipo	Área	TCH14	TCH15	TCH16	TCH17	POL	ATR	TCHe
01	CTC4	14,6ha	153,95	124,25	58,28	89,17	18,8%	184,9	88

Estes dados mostram o histórico de produtividade média deste bloco do período entre 2014 e 2017, com a mesma variedade, portanto é uma cana de 5º corte, e naturalmente o TCH apresenta uma redução à cada safra. Outros dados importantes apresentados na tabela são o POL, que representa o teor de sacarose presente na amostra, o ATR que é o peso em Kg de açúcar por tonelada de cana, ambos são indicadores muito importantes para as finalidades comerciais e de acompanhamento do andamento do cultivar (FATECBT, 2017).

Para o mercado de geração de energia elétrica, um dos dados importantes que usualmente são apresentados pelo fornecedor de cana é o TBH, que representa a Tonelada de Bagaço de Cana por Hectare, visto que, este material será utilizado internamente nas usinas para geração e operação das caldeiras(USINA, 2016). No caso desta área o TBH médio é de 22,3 toneladas por hectare. Assumindo esta relação, aplicada à área total, temos para este os seguintes valores:

$$BagacoCanaTotal[Ton] = TBH[Ton] \cdot Area[ha]$$

$$BagacoCanaTotal = 22,3 \cdot 14,6$$

$$BagacoCanaTotal = 325,6[Ton]$$

A geração de energia em uma usina faz parte do seu funcionamento e das atividades comerciais. Aplicando a relação de capacidade de geração de energia elétrica (EEH) nesta área, temos:

$$PotencialEnergiaElétrica = EEH[MWh] \cdot Area[ha]$$

$$PotencialEnergiaElétrica = 8,92[MWh] \cdot 14,6[ha]$$

$$PotencialEnergiaElétrica = 130,4MWh$$

Com os mapas gerados pelo drone, foi possível identificar regiões que tiveram desempenhos diferentes. Os Índices de Vegetação podem indicar zonas com menor atividade vegetal, e regiões com menores índices de clorofila, o que possui relação com a quantidade de biomassa em cada ponto de área amostral dependendo do estágio avaliado.

- **Mapa RGB:** este mapa possui alta resolução e é georreferenciado, tornando possível ir precisamente aos pontos de falha cobertura para desenvolver correções futuras. Por estar nas cores naturais, é possível observar as curvas de nível, que permitem identificar possíveis processos erosivos, bem como pontos com diferentes colorações em uma mesma etapa, o que demonstra uma diferença de desenvolvimento, assim como algumas falhas pontuais. Para esta área, especificamente, próximo às bordaduras é possível perceber uma presença de palhada exposta mais intensa, o que é natural por ser uma região onde sofre mais efeitos do vento, bem como o material já se encontra em fase de senescência e em fim de ciclo, próximo ao corte. Também é possível perceber algumas falhas na parte central, onde há solo exposto. Todos esses fatores influenciam e reduzem a quantidade de biomassa nesta área.

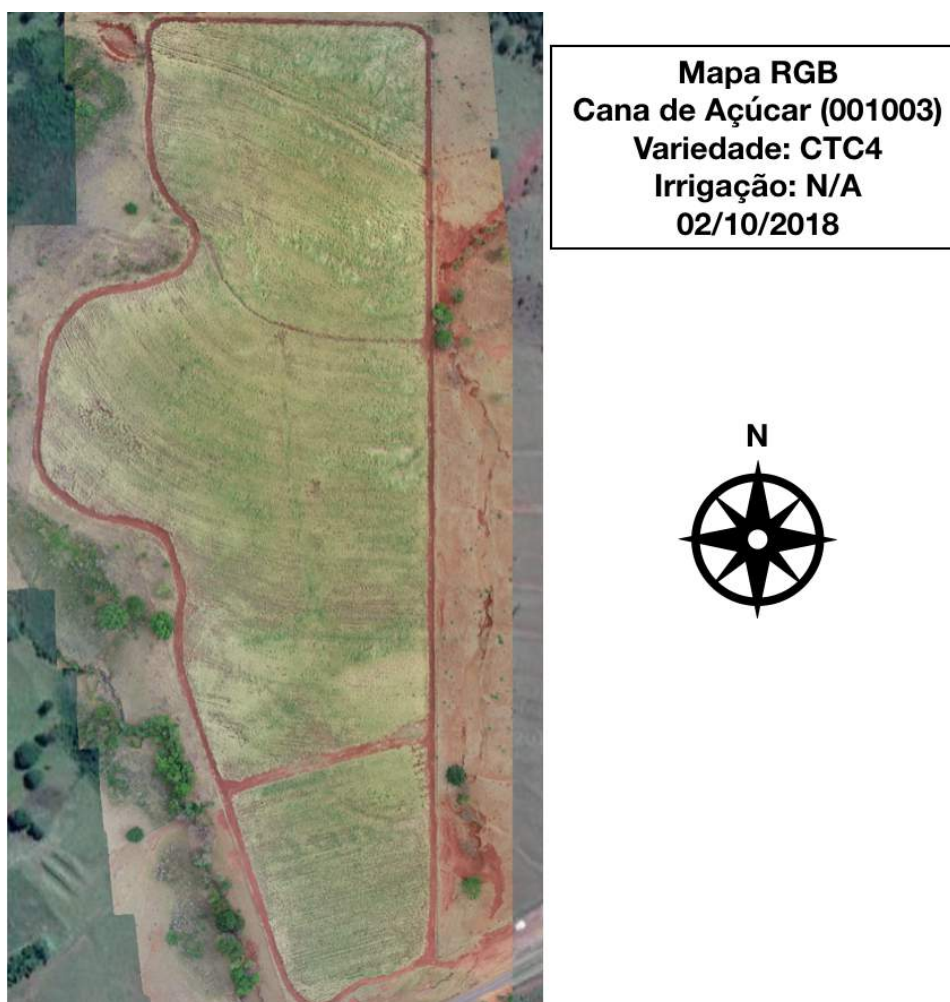


Figura 14 – Mapa RGB - Sequeiro

Fonte: Autor

- **Mapa VARI:** utiliza as bandas do espectro visível, muito utilizado para avaliação dos cultivos quanto ao desenvolvimento por diferença de coloração, essas diferenças podem estar relacionadas à déficits de nutrientes ou algum tipo de problema no balanço nutricional do solo na área, influenciando diretamente na saúde vegetal, esse índice também foi utilizado na pesquisa para avaliação da correlação das cores e indicativos de saúde vegetal com a biomassa. Nas áreas com os tons de amarelo mais intensos podem indicar uma cana mais desenvolvida ou com acamamento, o que torna este índice um indicativo de redução de biomassa, e com atividade vegetal não homogênea. Há pontos vermelhos que indicam solo exposto.

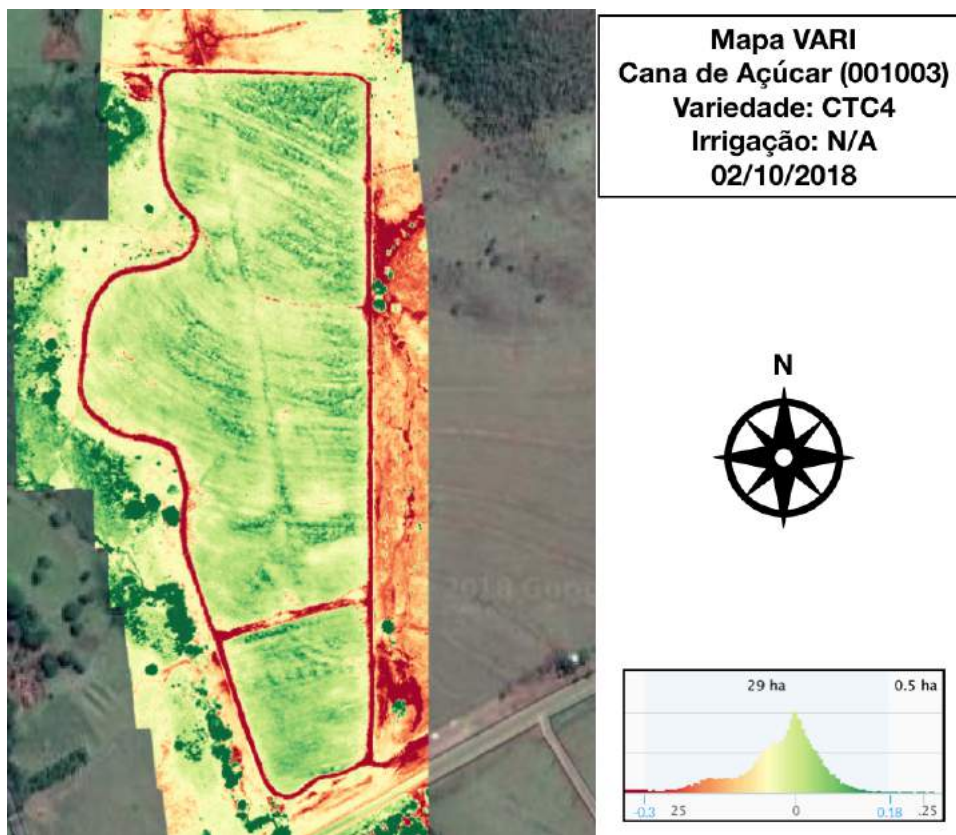


Figura 15 – Mapa VARI - Sequeiro

Fonte: Autor

- **Mapa Elevação:** este mapa mostra as características de relevo e da superfície, diversos pontos no interior do canavial com pontos não uniformes, não apresentando homogeneidade na área, que podem ser interpretados como falhas, acamamentos, pragas ou doenças, podendo indicar menor quantidade de biomassa nestes pontos, o que também influencia no TBH desta área.

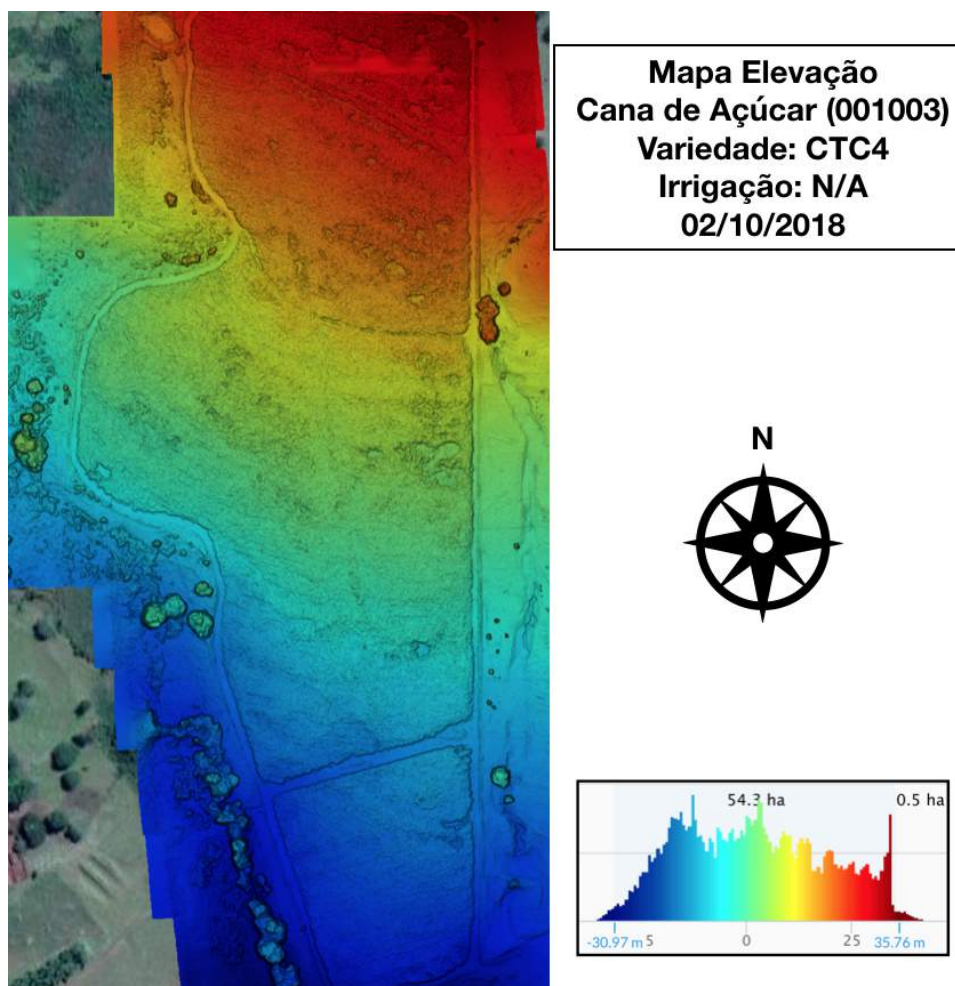


Figura 16 – Mapa Elevação - Sequeiro

Fonte: Autor

- **Mapa NDVI:** é um dos índices mais utilizados para avaliação da saúde vegetal e monitoramento de atividade, este índice utiliza as bandas do espectro não visível, captadas pela câmera infravermelho embarcada no drone.

Neste mapa, é possível perceber que as regiões centrais, as quais estão mais protegidas, ainda possuem um indicativo de atividade vegetal, diferente da cana exposta nas bordaduras, que apresentam uma cor mais avermelhada. O estágio de captura das imagens não favoreceu à análise dos mapas, dado a proximidade da colheita, a cana já estava com boa parte da sua área foliar amarelada, podendo causar alteração na interpretação dos resultados.

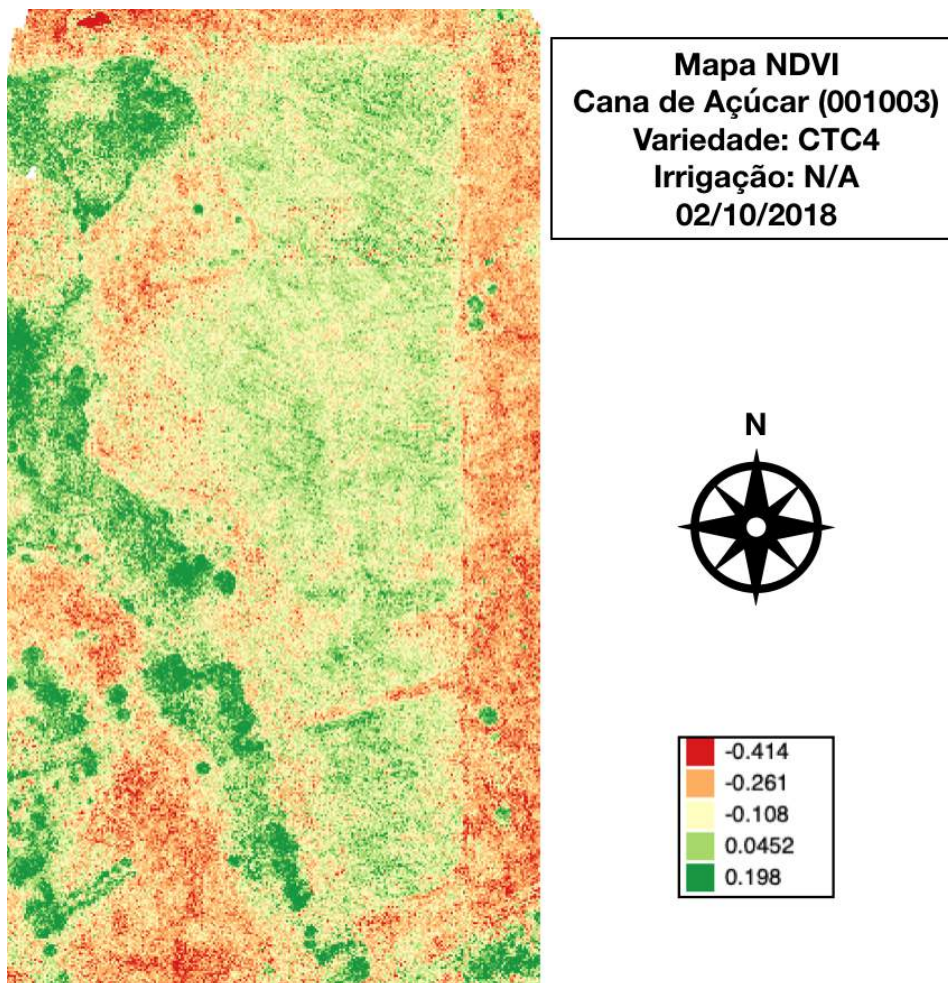


Figura 17 – Mapa NDVI - Sequeiro

Fonte: Autor

- **Mapa CVI:** este índice, apresentado anteriormente é um indicador da presença de clorofila na imagem, utilizando as bandas do espectro não visível capturadas pelo drone.

Neste mapa é possível perceber uma coloração mais avermelhada nas bordaduras e um interior mais amarelado, indicando uma menor presença de clorofila nas áreas externas e um pouco mais presente no interior. Pela coleta das imagens terem sido realizadas em uma situação próxima à colheita, as folhas já estavam em senescência e como consequência reduzindo a concentração de clorofila que pudesse ser detectada pelas imagens. Já ao redor do campo, onde há a presença de uma vegetação nativa, é possível perceber uma grande concentração de clorofila.

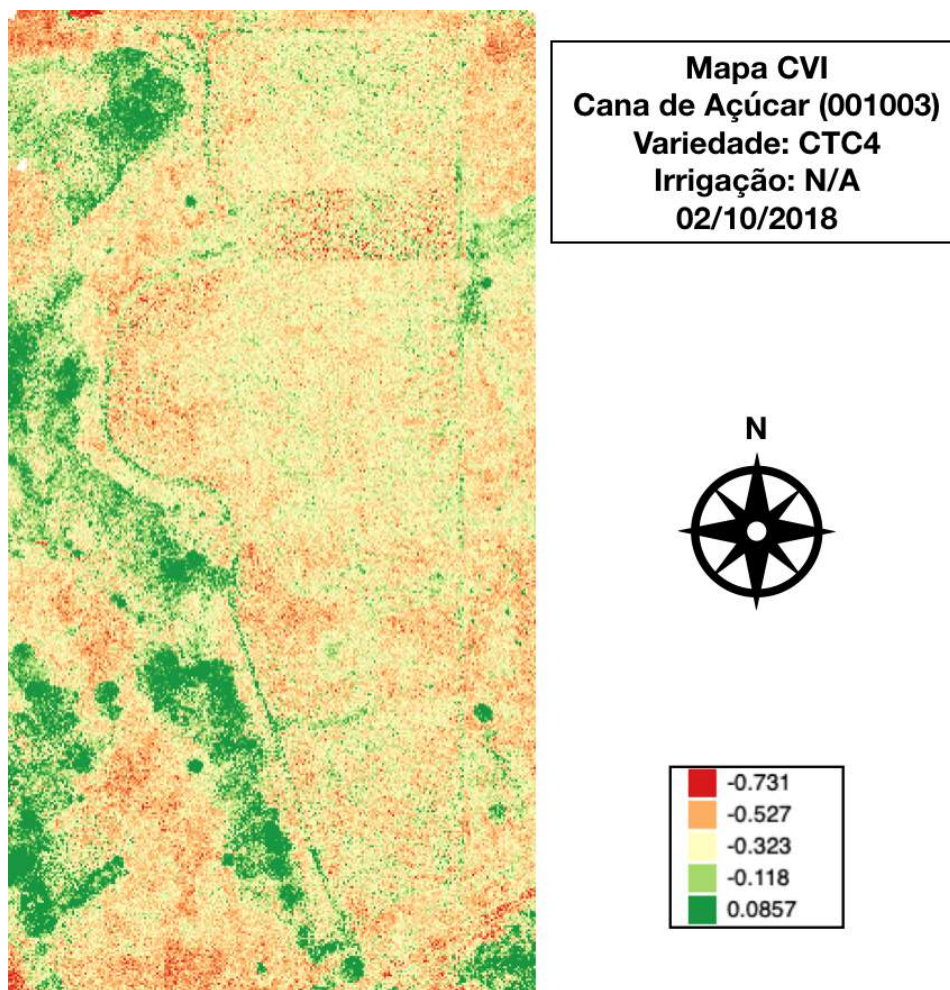


Figura 18 – Mapa CVI - Sequeiro

Fonte: Autor

3.3.2 Área 022004 - CTC4 - Água

O plano de voo para esta área também manteve os padrões apresentados anteriormente de 90m AGL e sobreposição das imagens de 65% e 75% para *sidelaps* e *frontlaps*, realizando a cobertura total da área de interesse.



Figura 19 – Plano de Voo - 32,93ha

Fonte: Autor

Os dados abaixo foram fornecidos pela Usina para esta área, e estão apresentados na tabela, auxiliando assim na análise dos mapas.

Id	Tipo	Área	TCH14	TCH15	TCH16	TCH17	POL	ATR	TCHe
22	CTC4	32,93ha	119,97	114,04	44,06	77,09	19,2%	188,5	77

Estes dados também apresentam o histórico de 2014 à 2017, referente à 4 cortes anteriores, onde é possível perceber a redução do TCH, com um pico de baixa produtividade em 2016. A diferença pequena do índices como POL e ATR entre as áreas 0022004 e 011003 ocorre porque ambas são da mesma variedade e tiveram tratamentos semelhantes durante as safras.

Na equação abaixo, aplicando à relação de Bagaço de Cana Total com a área do experimento teremos um resultado aproximado em toneladas do material gerado.

$$BagacoCanaTotal[Ton] = TBH[Ton] \cdot Area[ha]$$

$$BagacoCanaTotal = 22,3 \cdot 32,93$$

$$BagacoCanaTotal = 734,34[Ton]$$

Para esta área o potencial de geração de energia elétrica esperado, considerando a ficha técnica apresentada pelo CTC, têm-se:

$$PotencialEnergiaElétrica = EEH[MWh] \cdot Area[ha]$$

$$PotencialEnergiaElétrica = 8,92[MWh] \cdot 32,93[ha]$$

$$PotencialEnergiaElétrica = 293,744MWh$$

- **Mapa RGB:** este mapa está apresentado em cores naturais, neste caso é possível perceber um trecho mais amarelado na face norte da área, o que indica uma senescência um pouco mais avançada e heterogênea, como também é possível observar alguns pontos de solo exposto indicando algumas falhas de desenvolvimento. Estes pontos podem ser indicativos de redução da biomassa total produzida na área. A região próxima à rodovia e as vias de acesso ao campo apresentam cor amarelada por estarem expostas a mais efeitos de borda

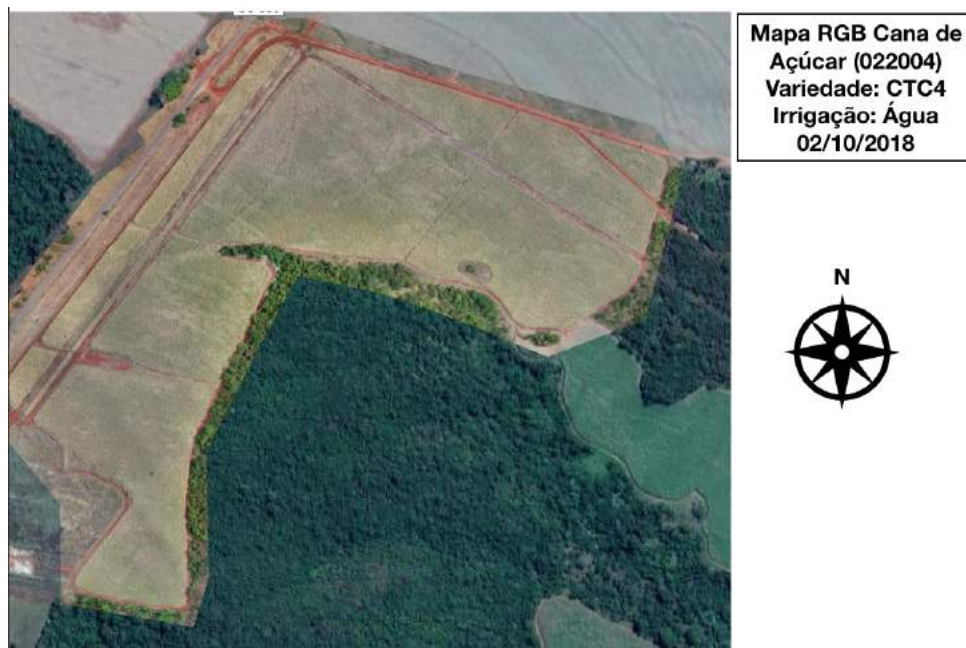


Figura 20 – Mapa RGB - Água

Fonte: Autor

- **Mapa VARI:** a aplicação deste índice nesta área colocou em evidência os tons amarelos que apresentam regiões onde há menor indicativo de atividade vegetal, e os tons verdes de maior atividade. Há um amarelamento intenso nas regiões próximas à rodovia e vias de acesso, indicando uma redução da atividade precocemente em relação ao restante do campo. Estes fatores podem influenciar na produtividade e consequentemente na biomassa total produzida por este campo.

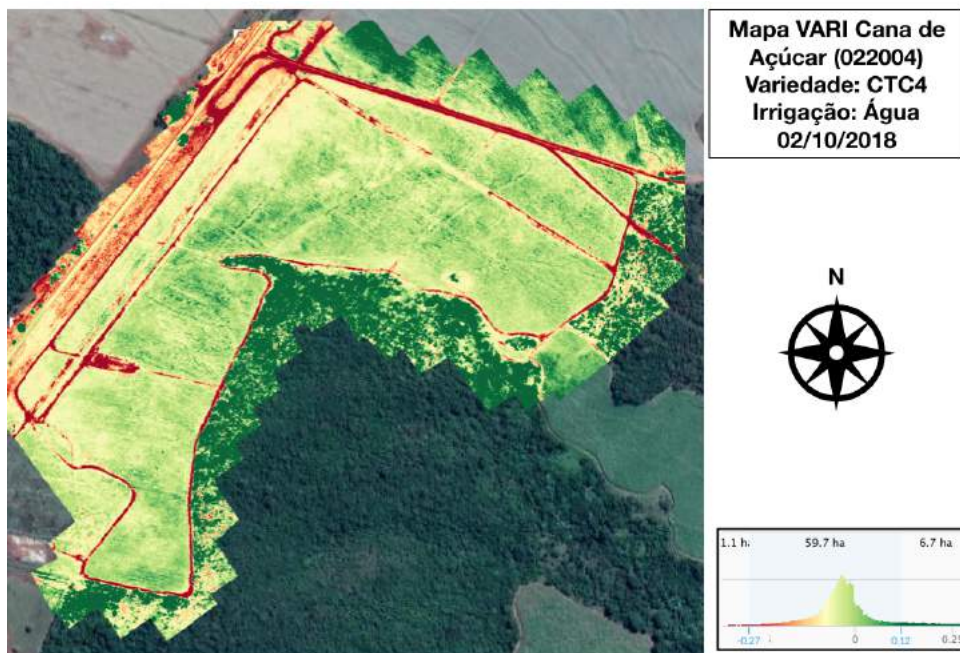


Figura 21 – Mapa VARI - Água

Fonte: Autor

- **Mapa Elevação:** esta área apresenta sistema de irrigação de água, por meio de um equipamento denominado carretel. O mapa de elevação auxilia na avaliação da declividade do terreno e pode ser utilizado para avaliação escoamento da água utilizada na irrigação. É possível perceber por diferenciação de textura na imagem, regiões com diferentes cotas e seções homogêneas e heterogêneas que podem apresentar uma diferença de desenvolvimento da cana, refletindo assim na produtividade e na biomassa total.

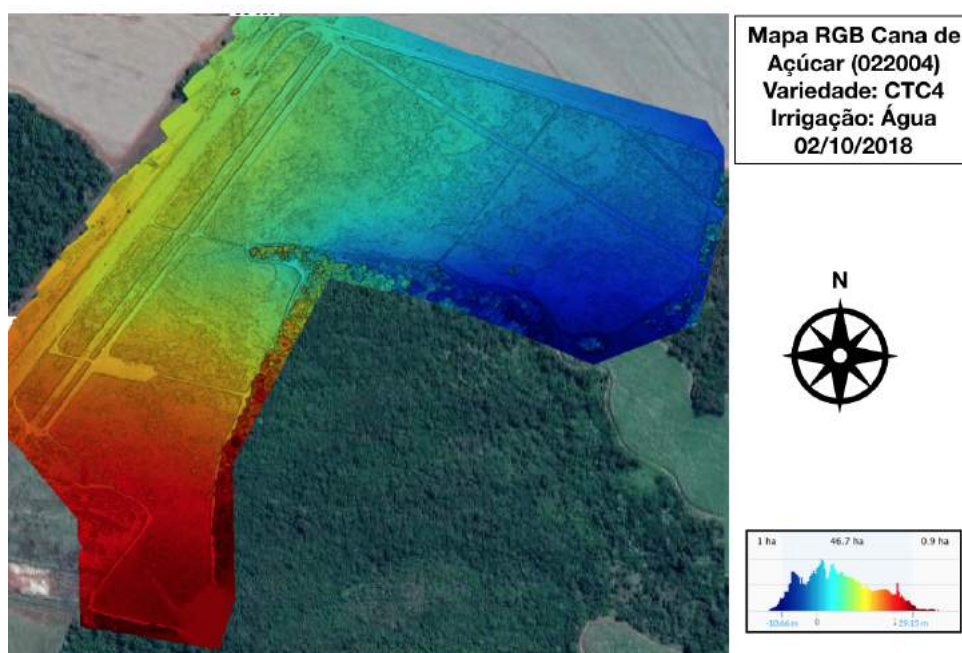


Figura 22 – Mapa Elevação - Água

Fonte: Autor

- **Mapa NDVI:** neste mapa é possível perceber o comportamento semelhante ao VARI, onde o indicativo de atividade nas regiões avermelhadas é menor do que nas regiões amareladas, bem como o comportamento semelhante nas bordaduras que são regiões que apresentam maior estresse ficarem em evidência no mapa. Este indicativo mostra zonas que sofreram algum tipo de perturbação que levaram a um comportamento heterogêneo. Esta perturbação pode resultar na redução da produtividade e biomassa total.

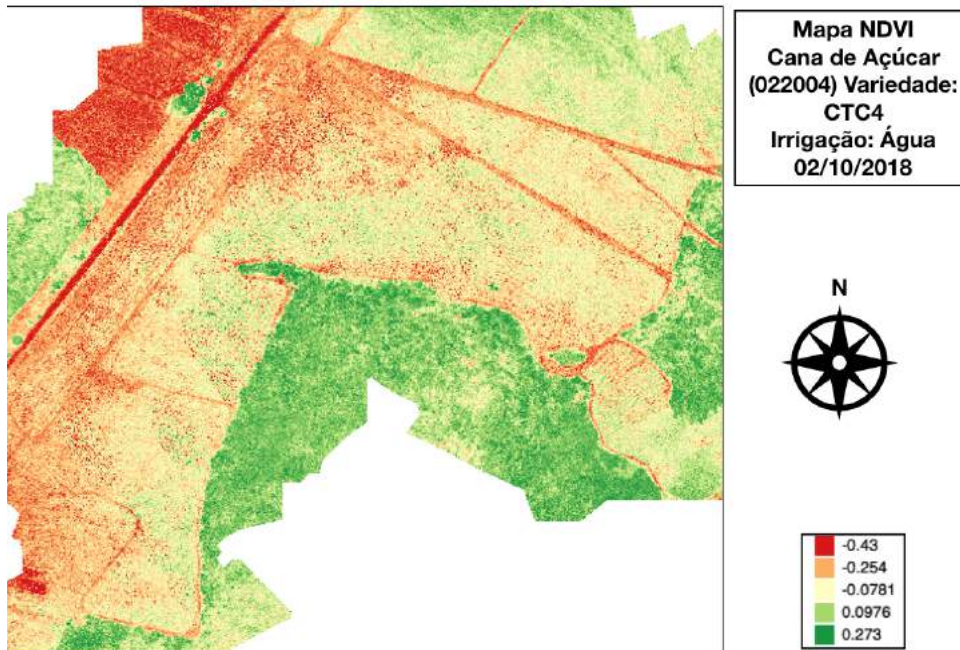


Figura 23 – Mapa NDVI - Água

Fonte: Autor

- **Mapa CVI:** neste mapa é possível avaliar que diferentemente do NDVI, em toda a área o vermelho está predominante, indicando pouca presença de clorofila, mas isto se deve ao estágio em que foi feita a elaboração do mapa.

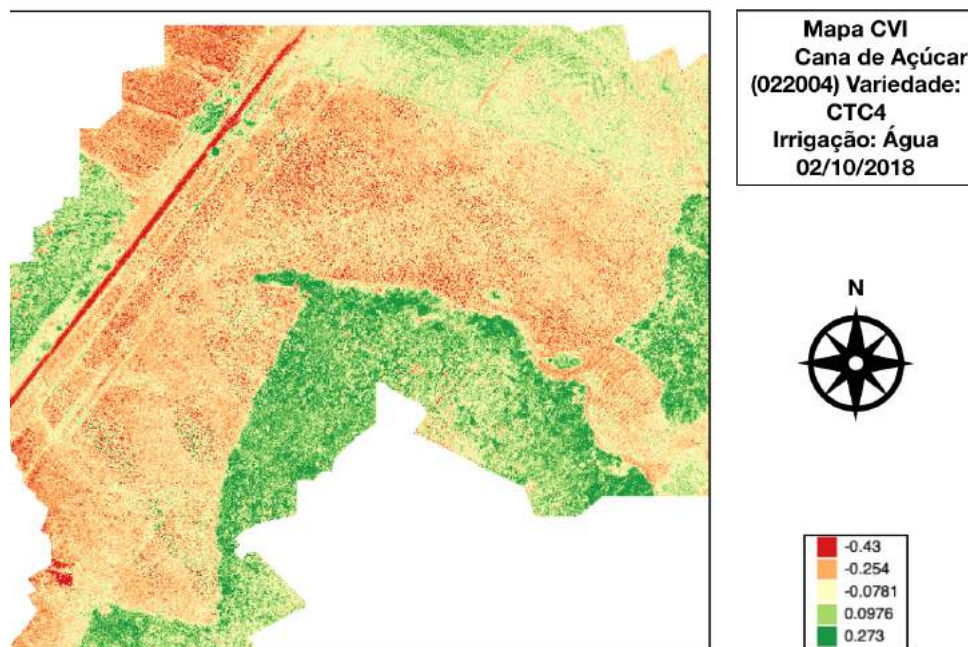


Figura 24 – Mapa CVI - Água

Fonte: Autor

3.3.3 Área 055001 - CTC15 - Vinhaça

O plano de voo realizado para este bloco segue apresentado abaixo, seguindo os parâmetros de voo apresentados anteriormente.



Figura 25 – Plano de Voo - 26,13ha

Fonte: Autor

Os dados abaixo foram fornecidos pela Usina, a fim de auxiliar na análise dos mapas e entender o comportamento histórico da área.

Id	Tipo	Área	TCH14	TCH15	TCH16	TCH17	POL	ATR	TCHe
55	CTC15	26,13ha	130,48	113,68	94,25	96,12	18%	177,2	97

Assim como nos outros campos, estes dados apresentam um histórico de TCH de 2014 à 2017, como também o TCH previsto para o ano de 2018. Os indicadores como POL e ATR, assim como potencial de produtividade e o método de irrigação influenciam

nos potencial de produção desta área tanto em produtos como etanol, açúcar como no mercado energético.

Para o mercado de geração de energia, esta variedade, associada às características do material, refletem melhores resultados dado à maior quantidade de bagaço de cana obtido ao final dos processos.

$$BagacoCanaTotal[Ton] = TBH[Ton] \cdot Area[ha]$$

$$BagacoCanaTotal = 24,0 \cdot 26,13$$

$$BagacoCanaTotal = 627,12[Ton]$$

Para esta área o potencial de geração de energia elétrica esperado, considerando as informações fornecidas pelo CTC, têm-se:

$$PotencialEnergiaElétrica = EEH[MWh] \cdot Area[ha]$$

$$PotencialEnergiaElétrica = 9,60[MWh] \cdot 26,13[ha]$$

$$PotencialEnergiaElétrica = 250,84MWh$$

- **Mapa RGB:** neste mapa é possível observar uma coloração homogênea em toda a área, com alguns poucos apontamentos de solo exposto no interior do campo.



Figura 26 – Mapa RGB - CTC15 - Vinhaça

Fonte: Autor

- **Mapa VARI:** neste mapa é possível identificar zonas centrais avermelhadas indicando menor atividade vegetal e na face nordeste da área um amarelo mais evidente, diferença esta relativa possivelmente às condições naturais de senescência não apresentando discrepâncias consideráveis. A região avermelhada central correspondente à área de manobras e passagem de linhas de transmissão.

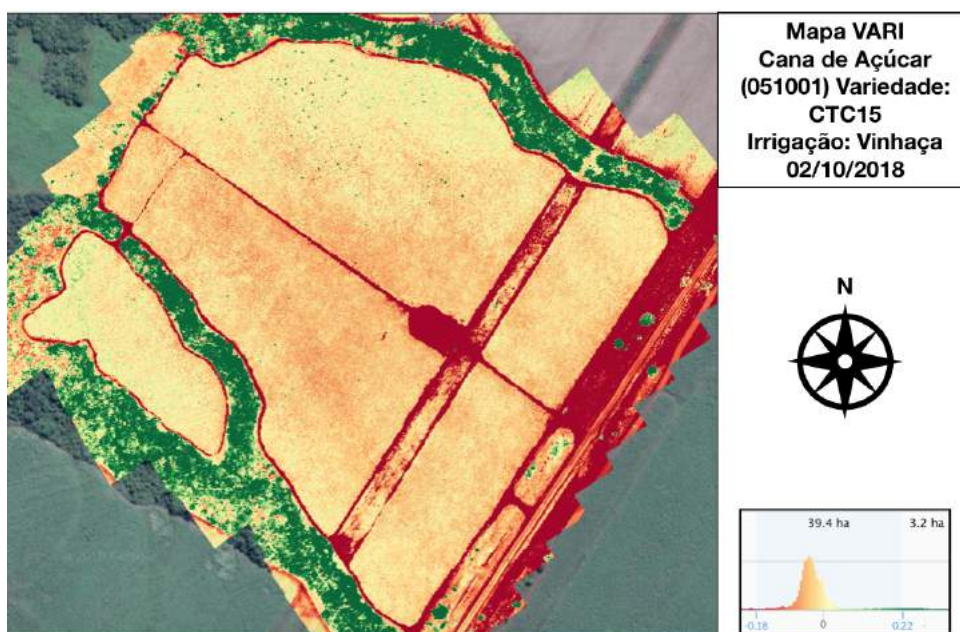


Figura 27 – Mapa VARI - CTC15 - Vinhaça

Fonte: Autor

- **Mapa Elevação:** é possível identificar as variações do relevo no campo devido a proximidade de um morro, contudo a variação de textura no campo é homogênea não apresentando pontos com desenvolvimento aparente diferente.

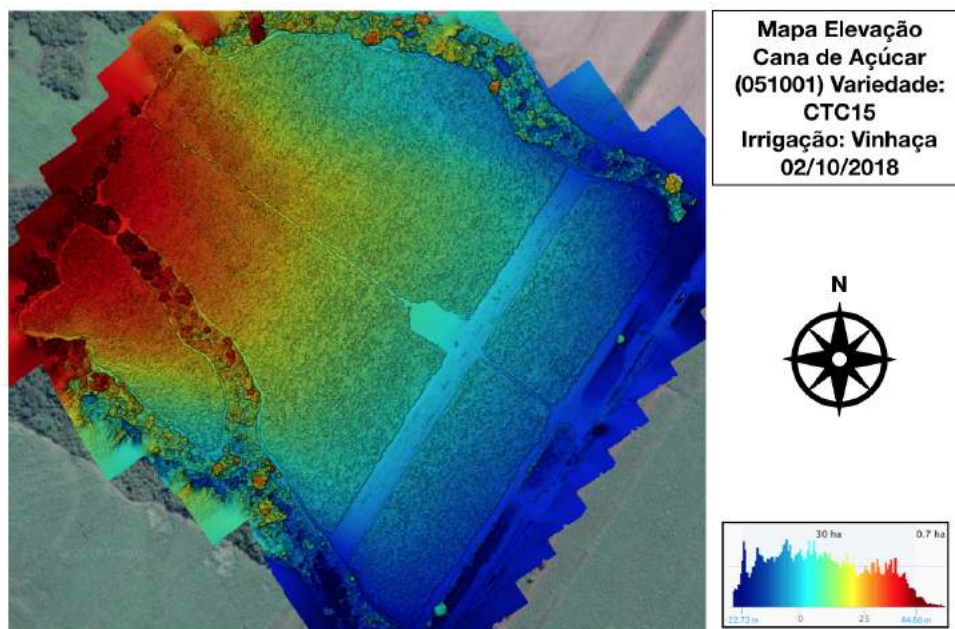


Figura 28 – Mapa Elevação - CTC15 - Vinhaça

Fonte: Autor

- **Mapa NDVI:** neste mapa é possível perceber uma semelhança com o mapa RGB de cores naturais na região nordeste correspondente ao amarelamento, neste caso, a coloração verde indica a presença de algum tipo de atividade vegetal ainda presente naquela região.

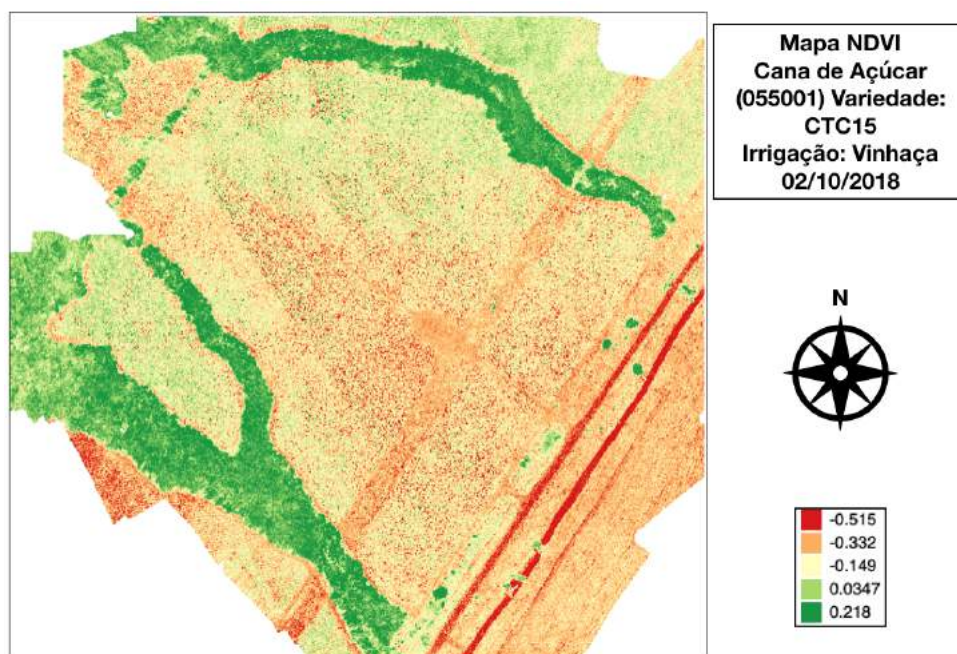


Figura 29 – Mapa NVDI - CTC15 - Vinhaça

Fonte: Autor

- **Mapa CVI:** neste mapa indicativo de clorofila, devido ao comportamento homogêneo deste campo e ao estadio mais tardio, não há faixas com grandes diferenças que pudessem indicar algum tipo de variação na biomassa produzida nesta área.

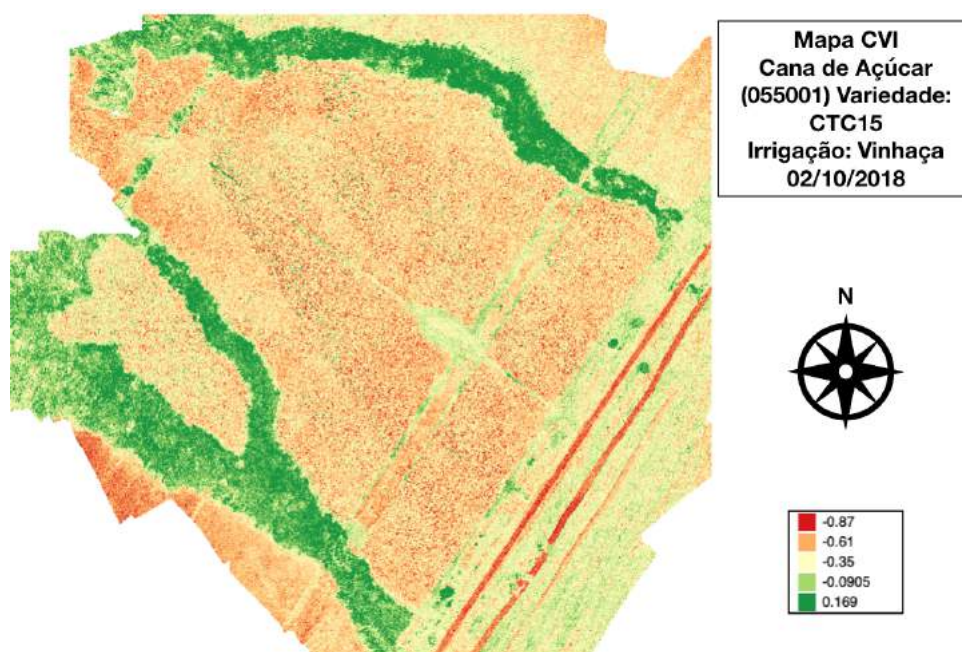


Figura 30 – Mapa CVI - CTC15 - Vinhaça

Fonte: Autor

3.4 Dados da Usina

Os dados na tabela foram fornecidos pela Usina Jalles Machado e são referentes às áreas mapeadas e apresentam o histórico de produtividade de cada amostra entre outras informações relevantes.

BL	VARIETADE	ÁREA(HA)	CORTE	TCH (2014)	TCH(2015)	TCH(2016)	TCH(2017)	CLASSIFICAÇÃO	POL(%)	ATR	TCHe	PRODUÇÃO(AP AGRI)
1	CTC4	14,6	5	153,95	124,25	58,28	89,17	SEQUEIRO	18,7821	184,97	88	1275,77
55	CTC15	26,13	5	130,48	113,68	94,25	96,12	VINHAÇA	17,9506	177,2	97	2592,00
22	CTC4	32,93	5	119,97	114,05	44,66	77,09	AGUA	19,228	188,5	77	2532,00

Figura 31 – Dados Usina Jalles Machado

Fonte: Agrícola Jalles Machado

A análise desta planilha consiste em um acompanhamento do TCH, onde no período de 4 anos, mais a previsão de produtividade para 2018, temos que a produtividade total média por ano do BL01 de 102,6TCH, o BL55 apresentou 106,3TCH e o BL22 com 85,54TCH. Onde o campo 55, com CTC15 e irrigação com vinhaça apresentou a maior quantidade em toneladas de cana-de-açúcar.

Observando o POL(%), que é a porcentagem de sacarose presente na cana, o BL22, com CTC4 e irrigação feita com água obteve os maior resultado, com 19,228%, ao mesmo tempo que apresentou a menor média de TCH. O BL01, obteve os resultado de teor de sacarose intermediário com 17,7821%, assim como o TCH. O BL55 que obteve a maior TCH, consequentemente apresentou o menor teor de sacarose com 17,9506%.

O ATR corresponde à quantidade em Kg de açúcar por tonelada de cana-de-açúcar e apresentaram comportamento semelhante ao do POL, onde BL22 obteve índices maiores, BL01 com resultados intermediários e BL55 o menor resultado.

3.5 Análise de Resultados

Os dados levantados por meio da utilização de uma aeronave remotamente pilotada nas áreas de plantio da Usina Jalles Machado, localizada em Goianésia-GO, no dia 02/10/2018, foram coletados e processados nos índices que foram considerados neste estudo como potenciais indicadores de biomassa para que pudessem auxiliar no desenvolvimento de uma estimativa de biomassa aplicada à geração de energia elétrica.

Foram realizados levantamentos em 3 campos, sendo eles 001003, 022004 e 055001, com variedades de cana-de-açúcar diferentes e tipos de irrigação com diferentes produtos. A Usina forneceu os dados principais para cada área, sendo eles área, variedade, tipo de cultivo, tipo de irrigação, histórico TCH de 2014 à 2017 com estimativa para 2018, POL

e ATR, os quais auxiliaram na análise das imagens e puderam mostrar diferentes tipos de finalidades de cada material.

Para o primeiro campo, 001003, com a análise é possível perceber manchas de amarelamento no mapa VARI e NDVI, os quais indicaram uma redução da atividade vegetal em alguns pontos da área onde estavam os pontos mais baixos das curvas de nível. O mapa CVI indicou que devido à proximidade da colheita, boa parte da cana já estava em senescência, o que era esperado, além deste índice estar distribuído de maneira homogênea. Há a presença de pontos com falha/ausência de cana-de-açúcar no interior do campo, o que influencia na biomassa total da área, bem como as bordaduras as quais no NDVI apresentou maior presença de solo exposto.

As áreas indicadas com redução de atividade vegetal e manchas representativas no momento da coleta dos dados foram quantificadas e correspondem à 4,3ha, 30% do campo amostrado.

Para o segundo campo, 022004, seguindo a análise dos mapas é possível identificar no RGB na região norte uma coloração palhada diferente do restante da área indicando uma diferença de comportamento, seguido pelo mapa VARI e NDVI, as bordaduras e regiões próximas da rodovia e vias de acesso estão amareladas por estarem mais expostas ao vento, naturalmente apresentam menor desempenho quando comparadas à regiões mais protegidas no interior do canavial. O indicador de clorofila se mostrou homogêneo em toda a área devido ao estágio avançado em que a cana se encontrava.

As áreas próximas das bordaduras, e que apresentaram diferença de coloração nos mapas NDVI e VARI correspondem à 12ha, 36% da área mapeada, indicando regiões que tiveram algum tipo de estresse, afetando assim o TBH.

Para o terceiro campo, 055001, com um sistema de irrigação de vinhaça, é possível identificar no mapa uma coloração homogênea em toda a área, com poucas aparições de solo exposto no interior do canavial. Os mapas NDVI e VARI tiveram manchas discretas, não sendo representativas. O indicador de clorofila estava homogêneo em toda a área devido ao estado avançado em que o material se encontrava. Nesta área não foi possível identificar nem quantificar áreas com diferenças consideráveis que influenciassem na avaliação.

O levantamento dos dados deste estudo ocorreu em outubro de 2018, quando a cana já estava em um estágio mais próximo do corte, já apresentando uma senescência que influencia diretamente nas imagens captadas pelas câmeras, dado este, que é um estudo que utiliza a imagem para o processamento e geração de dados.

Os mapas levantados possuem grande potencial de avaliação podendo indicar zonas com diferentes cores, o que traz informações para serem estudadas em safras futuras, bem como são indicadores de um comportamento não homogêneo que pode indicar um

desempenho diferente. Os mapas de elevação podem ser utilizados para analisar a textura de toda a área e identificar trechos com disparidades referentes à altura, acamamentos, mal desenvolvimento entre outros pontos.

3.6 Conclusão

O levantamento de informações com a utilização de aeronaves remotamente pilotadas mostrou-se uma ferramenta fundamental para a agricultura de precisão, seja no acompanhamento ou na identificação de falhas, este equipamento já está presente no campo e vem fazendo uma revolução tecnológica, fazendo parte da Agricultura 4.0.

A utilização de RPA's para a estimativa de biomassa aplicada à cana-de-açúcar para o mercado energético de geração apresentou bons resultados qualitativos. A geração de mapas auxiliam no acompanhamento e identificação de anomalias que podem indicar uma redução da biomassa produzida em cada área amostrada. Para obtenção de mapas com melhores indicadores o recomendado que as imagens fossem coletadas no início, sincronizado com o período da elaboração da previsão de safra da Usina e onde a vegetação se encontra mais responsiva e com maior vigor.

Os mapas calculados com os Índices de Vegetação, NDVI e o VARI neste estágio não se mostraram tão responsivos quanto o esperado devido à condição da cana-de-açúcar avaliada, com características palhadas. Contudo, foi possível visualizar manchas nos mapas que podem servir de indicativo para estudos futuros, o acompanhamento do acamamento das bordaduras, bem como analisar o comportamento destes indicativos na biomassa e conseqüentemente no bagaço de cana.

A estimativa de biomassa por sensoriamento remoto é um estudo antigo e que sempre foi objeto de interesse de diversos órgãos ambientais e mais recentemente o agro-negócio. Contudo, para que seja possível fazer uma estimativa precisa e que se possa considera-la confiável, além das imagens obtidas por satélites, RPA's, aeronaves e outros meios, deve haver informações de campo, tais como históricos, dados meteorológicos, e padrões de calibração que possam ser utilizados como referência. O comportamento natural da matéria também pode não obedecer um comportamento previsto e tornar um obstáculo nesta previsão.

O que pode-se dizer a partir deste estudo é que as informações obtidas e processadas nos mapas apresentados podem auxiliar e servir de fomento à um banco de dados com mais informações, para que seja possível trazer uma estimativa de produtividade mais precisa, e em um futuro próximo com o avanço das tecnologias e pesquisas, apenas com a utilização do sensoriamento remoto ser possível estimar com precisão a biomassa de uma lavoura ou floresta.

3.7 Sugestão para Trabalhos Futuros

Com a finalização desta etapa do estudo, ficam algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realização da coleta das imagens no período mais próximo ao período de maior atividade vegetal e de previsão de safra do campo avaliado.
- Assim como neste trabalho, coletar os dados históricos, variedade, irrigação, POL, ATR da área
- Coletar os dados pós corte de TCH e TBH da área correspondente ao mapa realizado para correlações mais precisas e calibração dos índices em mapas futuros.

Referências

- AVERY, T.; BERLIN. Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation. 1992. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 33.
- CAMARGO, A. Mapeamento da expansão agrícola no estado do mato grosso em 11 anos a partir de técnica baseada em séries temporais de imagens de ndvi. Citado na página 27.
- CANAVIEIRA, C. de T. Ctc variedades. 2018. Disponível em: <<https://variedadesctc.com.br>>. Citado na página 38.
- CNPTIA. Variedade rb cana-de-açúcar. 2008. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/VariedadesRB_2008+apostila_000fxga3a3302wyiv80soht9hctswek2.pdf>. Citado na página 36.
- FATECBT. Characterization of varieties of sugar cane submitted to mechanized harvest process in different cutting stages. 2017. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/viewFile/520/322>>. Citado na página 41.
- GITELSON. Agricultura de precisão. 2008. Disponível em: <<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1151&context=natrespapers>>. Citado na página 28.
- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no brasil. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/17.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 32.
- MARCUSSI, A. B. UtilizaÇÃo de índices de vegetaÇÃo para os sistemas de informaÇÃo geográfica1. 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16000/9020>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- MENESES, P. R. IntroduÇÃo ao processamento de i magens de sensoriamento remoto. 2012. Disponível em: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2012/livros/meneses_01.pdf>. Citado na página 29.
- MIURA, A. K. et al. AvaliaÇÃo de Áreas potenciais ao cultivo de biomassa para produÇÃo de energia e uma contribuiÇÃo de sensoriamento remoto e sistemas de informaÇÃes geogrÁficas. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000300020>. Citado na página 32.
- MME, M. de Minas e E. *Balanço Energético Nacional*. Rio de Janeiro, Brasil, 2017. 291 p. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 32.
- MORGAN, D.; FALKNER, E. Geometry of aerial photographs. v. 1, p. 39–44, 2002. Citado na página 29.
- PACHECO, F. Energias renováveis: breves conceitos. 2006. Disponível em: <http://files.pet-quimica.webnode.com/200000109-5ab055bae2/Conceitos_Energias_renovaveis.pdf>. Citado na página 25.

PEER, P. E. Vantagens e desvantagens da energia a biomassa. 2016. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>. Citado na página 20.

PODESTÀ, I. D. Soja representa quase 50agronegócio em maio. 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/soja-representa-quase-50-das-exportacoes-brasileiras-do-agronegocio-em-maio>. Citado na página 32.

SANCHES, G. M. et al. The potential for rgb images obtained using unmanned aerial vehicle to assess and predict yield in sugarcane fields year = 2018, url = <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2018.1448484?journalCode=tres20>. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

USINA, B. Uso do bagaço da cana. 2016. Disponível em: <http://www.usinabatatais.com.br/noticias/2016/06/24/ha-um-ano-bagaco-de-cana-era-vendido-por-r150-00-a-tonelada-agora-chega-a-r-25-00.html>. Citado na página 42.

VINA, G. et al. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425711002926>. Citado na página 28.